

# PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRID SEBAGAI SOLUSI KELISTRIKAN DI DAERAH TERPENCIL

**Agus Nurrohim**

Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Gedung BPPT II, Lantai 20, Jl. M.H. Thamrin 8, Jakarta 10340  
E-mail: gus\_nur01@yahoo.com, agus.nurrohim@bppt.go.id

## **Abstract**

*In order to meet electricity demand, the role of Diesel Power Generation (PLTD) in parts of Indonesia is still very large. Currently, 34.30% of electricity demand in outside of Java-Bali system was supplied by the PLTD. Especially for the Eastern Indonesia (Nusa Tenggara, Maluku, and Papua), nearly 100% of its electricity comes from PLTD. For the next 10 years, the government planning through PT. PLN will install 252 MW of PLTD in Eastern Indonesia and 73 MW in Western Indonesia. Due to the increasing of oil prices in the world will directly increase the oil prices in Indonesia, so that the electricity generating cost from PLTD would also increase. To reduce fuel consumption without reducing the service to the consumer, the construction of Diesel Power Generation should be integrated with renewable energy, like Solar Power and Wind Power to form the Hybrid Power Generation. By the Hybrid Power Generation, energy management can be controlled, so the using of diesel fuel can be more efficient. By applying of Solar Power and Wind Power in a quarter of the capacity of PLTD, the consumption of fuel could be reduced by 152 million liters up to 2019, or an average of 15.2 million liters per year.*

**Kata kunci:** PLTD, PLTHibrid, potensi EBT, Indonesia Timur, pengematan BBM.

## **1. PENDAHULUAN**

Saat ini kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Namun, akses pada ketersediaan energi yang handal dan terjangkau belum bisa sepenuhnya dipenuhi oleh pemerintah. Secara umum, kondisi kelistrikan di sejumlah daerah di Indonesia, khususnya di Indonesia bagian timur masih tergolong rendah. Pada tahun 2011, PLN mencatat rasio elektrifikasi nasional sebesar 72,03%. Untuk tahun 2012, PLN menargetkan rasio elektrifikasi nasional sebesar 74,03 %, dengan target rasio elektrifikasi Jawa-Bali 77,2%, Indonesia Barat 74,6%, dan Indonesia Timur 61,4%. Selanjutnya, rasio elektrifikasi nasional ditargetkan naik menjadi 80,01% pada tahun 2014.

Jika dilihat dari bauran energinya, produksi listrik (PLN dan IPP) tahun 2011, 44% berasal dari pembangkit berbahan bakar batubara, 23% dari pembangkit yang berbahan bakar BBM, 21% dari pembangkit berbahan bakar gas, 7% dari pembangkit bertenaga air, dan 5% berasal dari pembangkit panas bumi. Pembangkit berbahan

bakar batubara pada umumnya merupakan pembangkit-pembangkit dengan kapasitas besar. Sementara, pembangkit berbahan bakar BBM sebagian besar dikontrol oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) (pada 2010, produksi listrik dari PLTU Minyak 6.712 GWh dan dari PLTD sebesar 12.620 GWh).

Dengan adanya keterbatasan sumber energi fosil, harga BBM yang tinggi, dan berlimpahnya sumberdaya energi baru terbarukan, pemerintah perlu mengembangkan energi baru dan terbarukan guna memenuhi kebutuhan energi listrik rakyat Indonesia, khususnya untuk wilayah-wilayah yang masih menggantungkan pada BBM (PLTD). Selain untuk mengatasi permasalahan beban yang tidak sama sepanjang hari, maka kombinasi antara PLTS, PLTB dan PLTD atau disebut Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH-SBD) adalah salah satu solusi paling sesuai untuk sistem pembangkitan yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN. PLTHibrid yang memanfaatkan sumberdaya Energi Terbarukan juga merupakan salah satu langkah untuk memperkuat ketahanan energi nasional.

Paper ini akan mengulas tentang teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH-SBD) sebagai salah satu solusi yang ditawarkan dalam menyelesaikan permasalahan kelistrikan yang dipandang mampu meningkatkan rasio elektrifikasi di wilayah-wilayah terpencil sekaligus dapat mengurangi konsumsi BBM. Ada beberapa alasan teknologi jenis ini ditawarkan, yaitu adanya potensi energi matahari dan energi angin yang cukup besar. Penambahan pembangkit listrik yang direncanakan pemerintah di beberapa wilayah sebagian besar adalah PLTD, bahkan sebagian besar pembangkit listriknya disewa dari swasta (bukan milik pemerintah). Kelebihan produksi energi listrik dari PLTH dapat disimpan di dalam sistem penyimpanan (battery bank) sehingga rugi-rugi dapat dihindari, sehingga penggunaan bahan bakar minyak bisa lebih hemat.

Dengan menerapkan PLTS dan PLTB sebesar seperempat kapasitas PLTD yang akan dipasang, maka kebutuhan BBM sampai dengan 2019 dapat dikurangi sebesar 152 juta Liter atau rata-rata sebesar 15,2 juta Liter per tahun.

## 2. BAHAN DAN METODE

Dilihat perkembangannya, kebutuhan listrik dari tahun 2000 sampai dengan 2010 meningkat dengan pertumbuhan rata-rata nasional sebesar 6.41% pertahun. Pada tahun 2000, sektor industri menduduki urutan pertama dalam mengkonsumsi listrik, dengan pangsa 43% dari kebutuhan listrik nasional, sementara sektor rumah tangga menduduki urutan kedua dengan pangsa 39%. Namun, dengan adanya pertumbuhan kebutuhan listrik di sektor rumah tangga (6.95% per tahun) yang lebih tinggi dari sektor industri (4.13% per tahun), maka pada tahun 2010 pangsa terbesar konsumsi listrik nasional bergeser pada adalah sektor rumah tangga (41%). Untuk industri bergeser menduduki urutan kedua dengan pangsa 35%.

Jika dilihat dari penyediaannya pada tahun 2009, untuk wilayah Jamali dengan besar kapasitas terpasang 18,795 MW, 76 MW atau sekitar 0.4% adalah listrik yang dihasilkan dari PLTD. Sementara untuk Luar Jamali, dari 7,414 MW kapasitas terpasang, 2,543 MW atau sekitar 34.30% berasal dari PLTD. Bahkan masih banyak beberapa wilayah yang penyediaan listriknya 100% dari PLTD, seperti Kep. Riau, Bangka Belitung, Gorontalo, dan lain-lain. Secara detail peran PLTD terhadap kapasitas penyediaan listrik di setiap wilayah dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk ke depan, berdasarkan RUPTL 2010-2019 penambahan PLTD di Indonesia Barat dan Indonesia Timur (tidak termasuk Jamali) masih cukup besar, yaitu sebesar 325 MW, dengan

rincian 252 MW di Indonesia Timur dan 73 MW di Indonesia Barat. Detail penambahan setiap tahun dapat dilihat seperti pada Tabel 2. Ini merupakan potensi yang cukup besar, jika bisa dijadikan PLT Hibrid.

Tabel 1. Pangsa PLTD Terhadap Total Kapasitas Terpasang di Indonesia 2009

No	Wilayah	Total	PLTD	
			MW	%
1	Sumatra	4,599	798	17.35
2	Kalimantan	1,036	676	65.25
3	Sulawesi	1,175	471	40.09
4	Nusa Tenggara	258	256	99.22
5	Maluku	181	181	100.00
6	Papua	165	161	97.58
Sub Total Luar Jamali		7,414	2,543	34.30
Sub Total Jamali		18,795	76	0.40
Total Indonesia		26,821	2,619	9.76

Sumber: RUPTL 2010-2019

Tabel 2. Rencana Penambahan PLTD (MW)

Tahun	Indonesia Barat	Indonesia Timur	Total
2010	-	11	11
2011	26	10	36
2012	2	9	11
2013	4	44	48
2014	9	35	44
2015	5	37	42
2016	8	26	34
2017	7	9	16
2018	8	25	33
2019	4	46	50

Sumber: RUPTL 2010-2019

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Energi Matahari

Indonesia sebagai negara tropis yang berada di sepanjang katulistiwa dikaruniai sumberdaya energi matahari yang besar sepanjang tahun. Berdasarkan data yang dihimpun oleh BPPT dan BMG diketahui bahwa intensitas radiasi matahari di Indonesia berkisar antara 2.5 hingga 5.7 kWh/m<sup>2</sup>. Beberapa wilayah Indonesia, seperti: Lampung, Jawa Tengah, Sulawesi Tengah, Papua, Bali, NTB, dan NTT mempunyai intensitas radiasi diatas 5 kWh/m<sup>2</sup>. Sedangkan di Jawa Barat, khususnya di Bogor dan Bandung mempunyai intensitas radiasi sekitar 2 kWh/m<sup>2</sup> dan untuk wilayah Indonesia lainnya besarnya rata-rata intensitas radiasi adalah sekitar 4 kWh/m<sup>2</sup>. Detail intensitas radiasi matahari di beberapa wilayah Indonesia ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Radiasi Sinar Matahari di Indonesia (kWh/m<sup>2</sup>)

Propinsi	Lokasi	Tahun Pengukuran	Intensitas Radiasi
NAD	Pidie	1980	4.097
SumSel	Ogan Kom.Ulu	1979-198	4.951
Lampung	Lampung Sel.	1972-1979	5.234
DKI Jakarta	Jakarta Utara	1965- 198	4.187
Banten	Tangerang	1980	4.324
	Lebak	1991 - 1995	4.446
Jawa Barat	Bogor	1980	2.558
	Bandung	1980	4.149
Jawa Tengah	Semarang	1979-1981	5.488
DI Yogyakarta	Yogyakarta	1980	4.500
Jawa Timur	Pacitan	1980	4.300
KalBar	Pontianak	1991-1993	4.552
KalTim	Kab. Berau	1991-1995	4.172
KalSel	Kota Baru	1979 - 1981	4.796
		1991 - 1995	4.573
Gorontalo	Gorontalo	1991-1995	4.911
SulTeng	Donggala	1991-1994	5.512
Papua	Jayapura	1992-1994	5.720
Bali	Denpasar	1977- 1979	5.263
NTB	Kab. Sumbawa	1991-1995	5.747
NTT	Ngada	1975-1978	5.117

Sumber: Irawan R dan Ira F.

Untuk menghasilkan energi yang bisa dimanfaatkan, energi matahari disimpan dan dikumpulkan dalam suatu panel atau modul yang biasa disebut modul photovoltaic (*solar array*). Rangkaian beberapa modul photovoltaic (*solar array*) yang dihubungkan secara seri dan/atau paralel untuk mencapai nilai tegangan dan daya listrik yang diinginkan inilah yang disebut PLTS. Daya keluaran tiap modul surya akan berbeda yang tergantung pada teknologi modul surya dan kualitas produksinya. Sebagai contoh modul surya dari a-Si lebih unggul unjuk kerjanya terhadap peningkatan temperatur diatas temperatur standar dibandingkan dengan modul dari c-Si. Dengan demikian akhir-akhir ini ada kecenderungan untuk menilai unjuk kerja modul surya berdasarkan energi yang dihasilkan (kWh) dalam jangka waktu tertentu dibanding rating standar (kWp) atau dinyatakan dalam kWh/kWp. Secara teoritis, parameter yang sangat penting dalam menunjukkan efektivitas sel surya adalah efisiensi konversi yang menunjukkan berapa banyak sinar matahari yang jatuh pada permukaan sel yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Besarnya efisiensi sel surya ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_m}{P_o} = \frac{V_m I_m}{P_o} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_o}$$

dimana,  $P_m$  = daya maksimum dari sel surya  
 $P_o$  = daya yang diterima sel surya  
 $V_m$  = tegangan maksimum yang dihasilkan oleh sel surya  
 $I_m$  = arus maksimum yang dihasilkan oleh sel surya  
 $V_{oc}$  = tegangan rangkaian terbuka  
 $I_{sc}$  = arus hubung singkat  
 $FF$  = fill factor =  $(I_m \times V_m) / (I_{sc} \times V_{oc})$

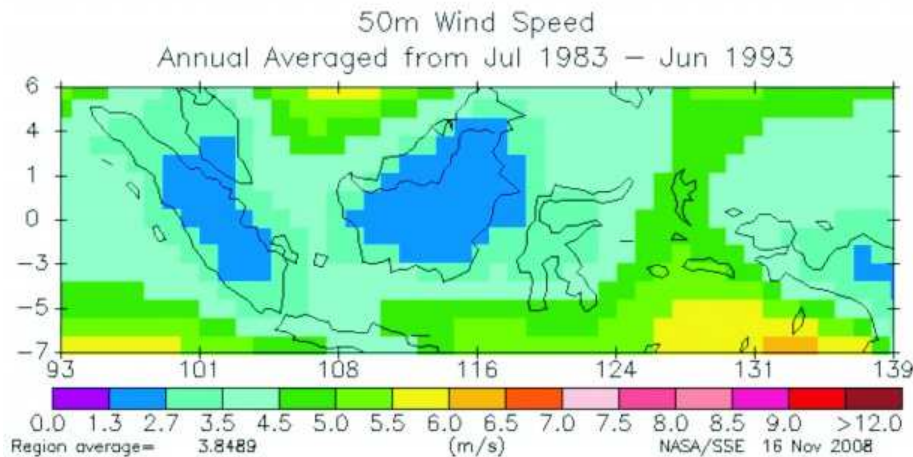
### 3.2. Energi Angin

Potensi energi angin di Indonesia secara garis besar relatif kurang dibanding negara lain yang berada di wilayah subtropis. Hal ini memang kenyataan yang harus diterima karena wilayah geografis Indonesia yang berada di wilayah equator dan kurang/tidak memiliki potensi energi angin.

Data kecepatan rata-rata angin di Indonesia hasil pengamatan oleh NASA dapat dilihat pada Gambar 1. Dari peta tersebut terlihat bahwa secara umum wilayah Selatan Indonesia yang berada jauh dari equator memiliki potensi energi angin yang relatif lebih baik dibanding daerah lain di Indonesia. Dari Gambar tersebut diketahui bahwa daerah yang memiliki kecepatan angin rata-rata terbesar adalah daerah Nusa Tenggara, 5,5 - 6,5 m/s. Sedangkan pulau-pulau besar di Indonesia, seperti Sumatera, Kalimantan, Jawa, Sulawesi dan Papua hanya memiliki kecepatan angin rata-rata antara 2,7 – 4,5 m/s.

Dalam penerapannya, potensi yang didapatkan dari pengukuran tersebut adalah merupakan gambaran awal potensi. Selanjutnya, untuk perancangan turbin angin, terdapat beberapa parameter yang harus diperhitungkan, yaitu kecepatan *cut-in* ( $V_{cut}$ ), kecepatan rating ( $V_{rated}$ ), dan kecepatan *cut-off* ( $V_{cut-off}$ ). Kecepatan *cut-in* adalah besar kecepatan angin ketika turbin angin mulai berputar, kecepatan *rating* adalah kecepatan *rating*, dan kecepatan *cut-off* adalah batas kecepatan di mana turbin angin belum mengalami kerusakan. Berdasarkan kecepatan angin yang ada, besar daya yang dihasilkan oleh turbin angin  $P_{wt}$  dapat dikelompokkan dalam 3 daerah, yaitu:

$$P_{wt} = \begin{cases} 0 & , 0 < v < v_{rated} \\ \left( \frac{v}{v_{rated}} \right)^3 \times P_{WT\_rated} & , v_{rated} < v < v_{cut-off} \\ P_{WT\_rated} & , v > v_{cut-off} \end{cases}$$



Sumber: Ronald N.M.S.

Gambar.1. Data Kecepatan Angin Rata-rata Indonesia

Daya dari sumber energi angin yang dapat dibangkitkan adalah berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Dimana,  $\rho$  = kerapatan udara  
 $A$  = luas penampang sapuan turbin  
 $V$  = kecepatan angin

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor  $A$  adalah sebesar 16/27 (=59.3%). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horizontal. Namun, pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor,  $\eta_{rotor}$  ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik. Maka daya yang dapat diserap oleh turbin angin secara real dapat ditulis menjadi:

$$P = \eta_{rotor} \frac{1}{2} \rho A V^3$$

### 3.3. Energi Biomasa

Dalam paper ini, penulis mengangkat juga energi biomassa, dengan dasar pemikiran PLTD yang akan digunakan tidak bergantung pada BBM. Tetapi berusaha memanfaatkan BBN sebagai bahan bakar pada PLTD. Penggunaan biomasa untuk bahan bakar, atau sering disebut Bahan Bakar Nabati (BBN) saat ini telah banyak dikembangkan. Salah satu bentuk BBN yang sedang dikembangkan adalah biodiesel baik yang

menggunakan bahan baku jatropa (jarak pagar) maupun kelapa sawit. Biodiesel dalam pemanfaatannya dicampur dengan minyak solar dengan perbandingan tertentu. B5 merupakan campuran 5% biodiesel dengan 95% minyak solar.

Dari sisi hilir, teknologi pengolahan biodiesel terus dikembangkan dan secara nasional sudah dapat dikuasai rancang bangun industri pengolahan biodiesel. BPPT telah mendisain dan membangun pabrik biodiesel sejak tahun 2000 dengan kapasitas 1,5 ton per hari. Bahkan, detail disain pabrik biodiesel skala komersial 80 ton per hari sudah dapat diselesaikan pada tahun 2007. Disamping BPPT, institusi lain seperti Lemigas, ITB, Departemen Pertanian, LIPI, PT. Rekin, dan beberapa perusahaan swasta, seperti PT. Energy Alternative Indonesia (EAI) dan PT. Eterindo Wahanatama juga mengembangkan pabrik biodiesel yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia.

Banyak tanaman yang dapat dijadikan sumber sebagai bahan bakar nabati (biodiesel), antara lain: Sawit, Kelapa, Jarak pagar, Kacang suuk, Kapok/randu, Kecipir, Kelor, Karet, Kemiri, Nyamplung dan lain-lain. Kandungan lemak dari setiap jenis tumbuhan yang dapat dijadikan sumber bahan baku biodiesel ditunjukkan pada Tabel 4. Namun tidak semua tumbuhan tersebut bisa ditanam di setiap wilayah di Indonesia. Untuk mengetahui secara baik, daerah mana yang cocok untuk jenis tanaman tersebut perlu memperhatikan kondisi tanah dan lingkungan sekitar. Sebagai contoh, tanah kritis yang umumnya merupakan batugamping seperti di Nusa Tenggara mempunyai potensi yang sangat besar untuk ditanami pohon jarak (*Jatropha curcas* dan *Ricinus communis*).

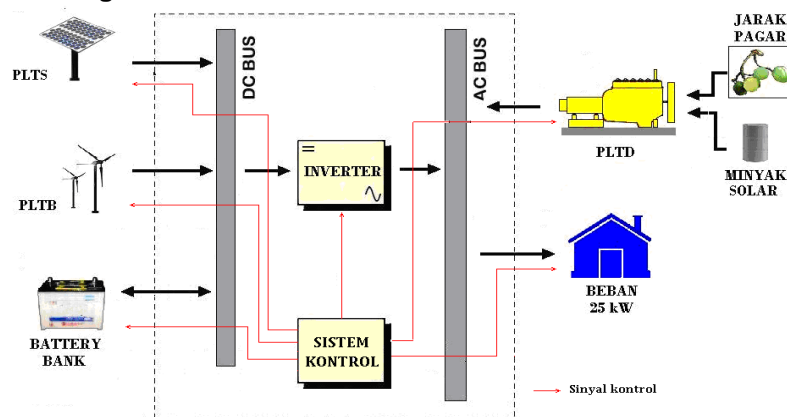
Tabel 4. Tumbuhan Sumber Potensial Minyak-Lemak untuk Biodiesel

Nama	Sumber	Kadar, %-b kr	P / NP
Sawit	Sabut + Dg buah	45-70 + 46-54	P
Kelapa	Daging buah	60 – 70	P
Jarak pagar	Inti biji	40 – 60	NP
Kacang suuk	Biji	35 – 55	P
Kapok/randu	Biji	24 – 40	NP
Kecipir	Biji	15 – 20	P
Kelor	Biji	30 – 49	P
Karet	Biji	40 – 50	NP
Kemiri	Inti biji (kernel)	57 – 69	NP
Malapari	Biji	27 – 39	NP
Kusambi	Daging biji	55 – 70	NP
Nyamplung	Inti biji	40 – 73	NP
Saga utan	Inti biji	14 – 28	P

Keterangan: kr  $\equiv$  kering; P  $\equiv$  minyak/lemak Pangan (*edible fat/oil*), NP  $\equiv$  minyak/lemak Non-Pangan (*nonedible fat/oil*)  
Sumber: Bambang P.

Sebagai gambaran, dari tanaman yang biasa dipakai sebagai sumber Bahan Bakar Nabati (kelapa sawit dan jarak pagar), ditunjukkan bahwa setiap hektar kebun kelapa sawit akan menghasilkan 1,95 ton CPO. Selanjutnya satu ton CPO akan dapat menghasilkan 0,9 ton Biodisel (1,03 kL Biodisel). Sementara untuk produksi biodisel dari bijih jarak, satu ha lahan jarak pagar akan menghasilkan 10 ton bijih jarak dan akan menghasilkan sekitar 2 ton minyak bijih jarak.

### 3.4. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Hibrid



Gambar 2. Skema Susunan PLT Hibrid

Cara kerja sistem PLTHibrid Surya-Bayu-Diesel (PLTH-SBD) sangat tergantung dari bentuk beban atau fluktuasi pemakaian energi (*load profile*) yang mana selama 24 jam distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya. *Load profile* ini sangat dipengaruhi oleh homogenitas atau

Penggabungan pembangkit listrik dalam PLT Hibrid, secara garis besar ditunjukkan seperti pada Gambar 2. Komponen utama dari PLT Hibrid antara lain sub sistem PLTS, sub sitem PLTB, sub sistem PLTD, sub sistem penyimpanan energi (*storage*) yang berupa *battery bank*, dan sub sistem kontrol yang berupa *Hybrid Power Conditioner* (HPC). Pada PLT Hibrid, kedudukan HPC sangat penting karena berfungsi sebagai pusat kendali. HPC pada umumnya tersusun dari:

- *Bi-directional inverter*, merupakan inverter dua arah yaitu merubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC atau sebaliknya dari keluaran generator ke sistem DC untuk pengisian energi ke baterai (*charge battery*).
- *Solar Charge Conditioner* berfungsi untuk mengatur pengisian baterai dari input PV-Array agar baterai terkontrol pengisiannya sehingga tidak akan terjadi *over charge* maupun *over discharge*.
- Manajemen energi difungsikan sebagai tujuan utama dari sistem hibrid dimana aliran beban akan selalu dikontrol dari ketiga sumber energi. Jika sumber Genset harus beroperasi maka beban yang dipikul oleh genset harus dioptimalkan pada posisi min 70% dari kapasitas diesel agar tercapai efisiensi pemakaian bahan bakar sesuai kurva *Specific Fuel Consumption* (SFC) diesel-generator. Semua aliran energi akan dimonitor dan dikontrol untuk dapat mencapai titik efisiensi secara sistem dalam pemakaian BBM. Tanpa Management Energi maka PLTH layaknya hanya berfungsi sebagai *switch over* atau *backup* sistem yang tidak akan memperbaiki SFC PLTD.

faktor kebersamaan dimana pembangkit tersebut dioperasikan.

Pada umumnya PLTH-SBD bekerja sesuai urutan sebagai berikut:

- Pada kondisi beban rendah (sesuai dengan settingnya, misal <50% beban puncaknya),

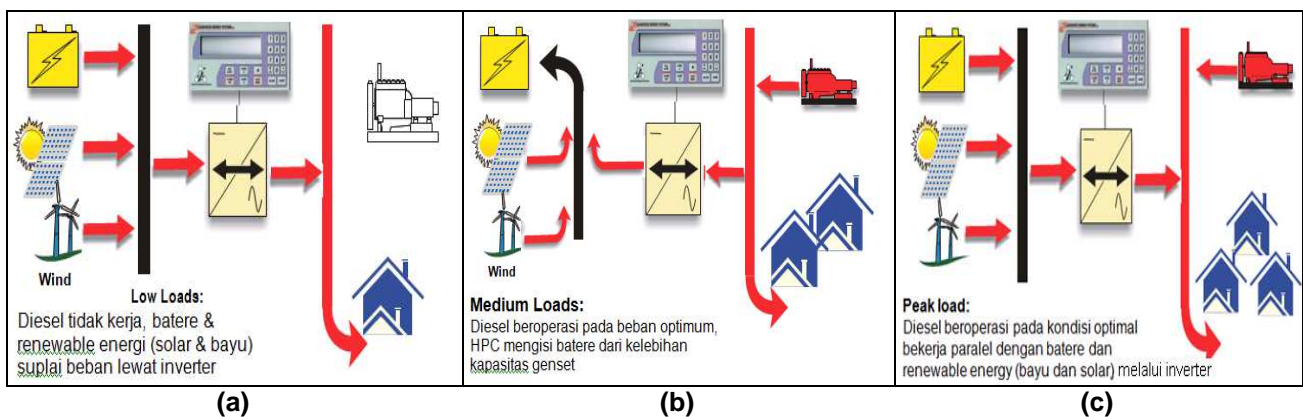


selama kondisi baterai masih penuh beban disuplai 100% dari baterai, PLTS dan PLTB, sehingga diesel tidak perlu beroperasi. Ketiga jenis sumber energi tersebut bekerja secara paralel dalam mensuplai energi listrik ke beban. Aliran daya pada kondisi beban rendah diperlihatkan pada Gambar 3.a. Apabila beban mencapai 50% seperti di atas tetapi baterai masih mencukupi, maka diesel tidak akan beroperasi dan beban disuplai oleh baterai melalui inverter yang akan merubah tegangan DC ke tegangan AC.

- b. Jika beban naik sampai diatas 50% beban puncak dan kondisi baterai sudah berada pada level bawah yang disyaratkan, diesel mulai beroperasi untuk mensuplai beban dan sebagian mengisi baterai sampai beban yang disyaratkan diesel mencapai 70-80% kapasitasnya. Pada kondisi ini *inverter* bekerja

sebagai *charger* (merubah tegangan AC dari generator menjadi tegangan DC) untuk mengisi baterai (fungsi *bi-directional Inverter*). Aliran daya seperti terlihat pada Gambar 3.b. dapat terjadi selama kapasitas beban yang aktif pada saat itu lebih kecil dari kapasitas diesel generator.

- c. Pada kondisi beban puncak, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.c, seluruh sub sistem pembangkit beroperasi bersama-sama untuk menuju paralel sistem dan ini terjadi apabila kapasitas terpasang diesel atau inverter tidak mampu sampai beban puncak. Jika kapasitas genset cukup untuk mensuplai beban puncak, maka inverter tidak akan beroperasi paralel dengan genset. Apabila baterai sudah mulai penuh energinya maka secara otomatis genset akan mati dan beban disuplai dari baterai melalui inverter.



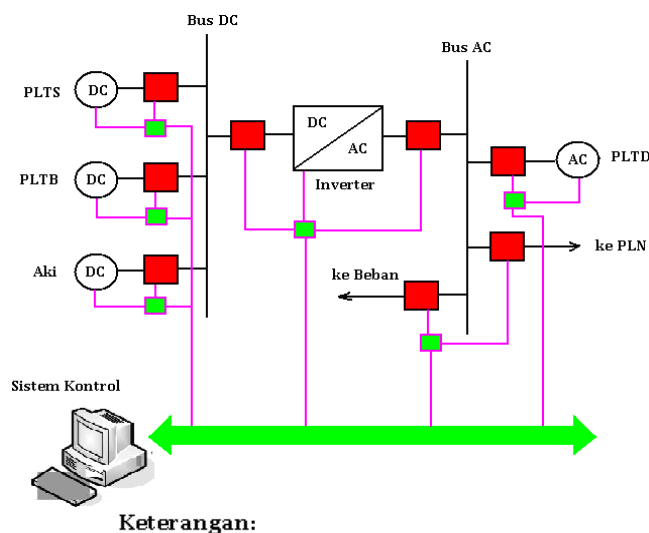
Gambar 3. Aliran Daya PLTH pada Kondisi Berbagai Beban

Semua proses kinerja tersebut di atas diatur oleh sistem *control power management* yang terdapat pada HPC. Proses kontrol ini bukan sekedar mengaktifkan dan menonaktifkan diesel tetapi yang utama adalah pengaturan energi agar pemakaian BBM diesel menjadi efisien, bukan hanya sekedar paralel sistem dan atau *switch over* ke diesel atau *inverter*.

### 3.5. Single Line Diagram

Produksi listrik PLTHibrid selain bisa langsung disalurkan pada beban, bisa juga dimasukkan pada jaringan listrik PLN. Berdasarkan hasil analisis mulai dari sumber energi energi terbarukan skala kecil, pembangkit hibrid sampai dengan beban maka dapat dibuat *single line diagram* dari sistem microgrid seperti pada Gambar 4. Ada dua jaringan dalam sistem, yaitu jaringan DC yang digunakan untuk koneksi dengan pembangkit PLTS, PLTB dan baterai, sedangkan jaringan AC digunakan untuk PLTD

serta beban yang membutuhkan daya listrik. Untuk koneksi dari jaringan AC dan jaringan DC digunakan inverter.



Gambar 4. Sistem Mikrogrid untuk Pembangkit Hibrid

Dari gambar 4 terlihat bahwa ada 2 aliran utama, yaitu aliran daya dari sumber energi/pembangkit listrik ke beban dan aliran informasi dari sistem kontrol ke peralatan individu. Semua peralatan sistem kerjanya diatur oleh sistem kontrol sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem serta dapat lebih mengoptimalkan penggunaan sumber energi terbarukan.

### 3.6. Analisa Penghematan Bahan Bakar

Hal yang terpenting dalam penerapan PLT Hibrid ini adalah pengurangan produksi listrik dari PLTD yang bisa digantikan oleh PLTS dan PLTB. Dengan mengambil asumsi-asumsi: *Capacity Factor* PLTD 80%, *Availability Factor* 95%, Efisiensi 25% dan *Specific Fuel Consumption* 0.30 L/kWh, maka perkiraan produksi listrik dari PLTD dan minyak disel yang diperlukan untuk memenuhi rencana penambahan kapasitas (Tabel 2) adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Produksi Listrik PLTD (MWh)

Tahun	Indonesia Barat	Indonesia Timur	Total
2010	-	68,657	68,657
2011	162,279	62,415	224,694
2012	12,483	56,174	68,657
2013	24,966	274,626	299,592
2014	56,174	218,453	274,626
2015	31,208	230,936	262,143
2016	49,932	162,279	212,211
2017	43,691	56,174	99,864
2018	49,932	156,038	205,970
2019	24,966	287,109	312,075

Tabel 6. Konsumsi Minyak Disel PLTD (kL)

Tahun	Indonesia Barat	Indonesia Timur	Total
2010	-	20,597	20,597
2011	48,684	18,725	67,408
2012	3,745	16,852	20,597
2013	7,490	82,388	89,878
2014	16,852	65,536	82,388
2015	9,362	69,281	78,643
2016	14,980	48,684	63,663
2017	13,107	16,852	29,959
2018	14,980	46,811	61,791
2019	7,490	86,133	93,623
Total	136,689	471,857	608,546

Dari Tabel 6 terlihat bahwa rencana penambahan kapasitas pembangkit PLTD di Indonesia Barat dan Timur akan memerlukan minyak solar sebanyak 608.5 ribu kL untuk waktu sepuluh tahun (2010-2019) atau sekitar 60.85 juta Liter pertahun. Dengan menggunakan harga minyak solar Rp. 9,500/L, maka anggaran yang harus disediakan untuk membeli bahan bakar saja adalah sebesar 5.78 triliun rupiah (untuk 10 tahun) atau sebesar 578 milyar rupiah pertahun.

Salah satu keuntungan penerapan PLTH SBD adalah beban listrik yang disuplai oleh PLTD sebagian akan bisa disuplai oleh PLTS dan PLTB, tergantung seberapa besar beban dan PLTS dan PLTB dipasang. Jika diasumsikan 25% beban akan digantikan oleh sistem ini, maka penghematan bahan bakar dari PLTD akan bisa dikurangi sebesar 152 juta Liter atau dalam bentuk rupiah sekitar 1.44 triliun rupiah selama 10 tahun atau sebesar 144 miliar rupiah per tahun. Merupakan angka yang sangat signifikan jika dimanfaatkan untuk pengadaan PLTS dan PLTB yang diperlukan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

- Masih terjadi kesenjangan rasio elektrifikasi yang cukup signifikan antar wilayah kelistrikan Indonesia. Pada tahun 2012, rasio elektrifikasi wilayah Jambi (77,2%), Indonesia Barat (74,6%) dan Indonesia Timur (61,4%).
- Untuk memenuhi kebutuhan listrik di sebagian wilayah Indonesia Barat dan Timur, sebagian besar masih bergantung pada PLTD. Dengan adanya harga BBM yang tinggi, mengakibatkan biaya pembangkitan listrik dari PLTD akan membebani masyarakat.
- Adanya sumber EBT, khususnya energi matahari dan energi angin, maka untuk mengurangi biaya bahan bakar pada PLTD, sudah waktunya rencana pembangunan PLTD diintegrasikan dengan PLTS dan PLTB untuk membentuk microgrid PLTHibrid.
- Selain dapat memperoleh kualitas ketersediaan yang lebih terjamin, melalui PLTHibrid Surya-Bayu-Disel pemakaian BBM diesel menjadi efisien.
- Dengan menerapkan PLTS dan PLTB seperempat kapasitas PLTD yang akan dipasang, maka kebutuhan BBM sampai dengan 2019 dapat dikurangi sebesar 152 juta Liter atau rata-rata sebesar 15,2 juta Liter per tahun.
- Penerapan PLT Hibrid di Indonesia Timur dan Indonesia Barat, maka akan dapat dilakukan penghematan biaya bahan bakar minyak sebesar 144 milyar rupiah per tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alvaro L., Octavian C., Jaime J., and Haritza C., Survey on microgrids: Unplanned islanding and related inverter control techniques, Renewable Energy, Article in Press, 2011, 1-10.
- Bambang P., Penyediaan Bahan Baku Dalam Rangka Memenuhi Kebutuhan Bahan Bakar Nabati Jangka Panjang, Lokakarya Optimalisasi Permen ESDM No. 32/2008 tentang Kewajiban Pemakaian Bahan Bakar Nabati, 1 – 2 Desember 2008, Dewan Riset Nasional, Jakarta
- DNV., 2010. Technology Outlook 2020, Det Norske Veritas As, Hovik.
- Huang J., Jiang C., and Xu R., A review on Distributed Energy Resources and Micro Grid, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2008, 2472–2483.
- Irawan R., dan Ira F., Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia, Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan, P3TKKE-BPPT, Januari 2005, 43-52, Jakarta.
- Jimin Lu and Ming Niu (2010) Overview on Microgrid Research and Development, Proceeding International Conference, Information Computing and Applications, Part I, October 2010, 161–168.
- MEMR., 2010. Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia, Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources, Ministry Energy and Mineral Resources, Jakarta.
- PLN., 2010. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2010-2019, PT PLN (Persero), Jakarta.
- Ramon Z., and Anurag K. S., Controls for microgrids with storage: Review, challenges, and research needs, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 2010, 2009–2018.
- Ronald N.M.S., 2008. Optimalisasi Ekstraksi Energi Angin Kecepatan rendah di Indonesia, National Innovation Contest 2008 Himpunan Mahasiswa Mesin ITB, <http://konversi.wordpress.com>. Diakses pada 2 Juli 2012